

BEST AVAILABLE COPY

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-129970

(43)Date of publication of application : 16.05.1997

(51)Int.Cl.

H01S 3/18

(21)Application number : 07-308357

(71)Applicant : NEC CORP

(22)Date of filing : 31.10.1995

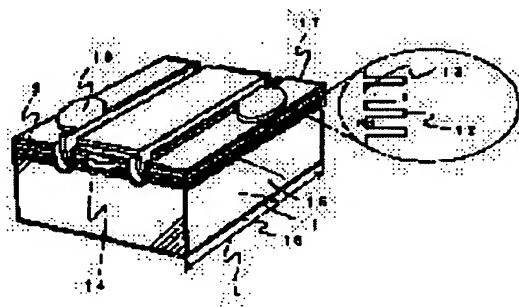
(72)Inventor : FURUSHIMA YUJI

(54) LASER DIODE ELEMENT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a laser diode element having an excellent light outputting characteristic and an excellent modulating characteristic over a wide temperature range by providing an active layer composed of an InGaAsP multi-strain quantum well and specifying the resonator length, detuning amount at a room temperature, and number of quantum wells or the light confining coefficient into a quantum well layer.

SOLUTION: After an active layer composed of an InGaAsP strain quantum well layer 12 and a barrier layer 13 is formed on an n-type InP substrate 11, a DC-PBH current constricting structure 14 and a $\lambda/4$ -shifting diffraction grating 15 are formed on the active layer. In addition, an n-side electrode 16 is formed on the rear surface and a nonreflective coating 17 and a p-side pad electrode 18 are formed on the front surface. The resonator length, detuning amount at a room temperature, and number of quantum wells or the light confining efficient into a quantum well layer are respectively set at 300-600. μm , -15nm to +15nm, and 8-15 layers or 3-10%. The preferable resonator length, detuning amount, number of quantum wells or the light confining coefficient are 400-500. μm , -10 to +10nm, and 10-12 layers or 5-8%, respectively.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 31.10.1995

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 28.03.2000

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-129970

(43)公開日 平成9年(1997)5月16日

(51)IntCl.⁶

H01S 3/18

識別記号

庁内整理番号

F I

H01S 3/18

技術表示箇所

審査請求 有 請求項の数 4 F D (全 13 頁)

(21)出願番号

特願平7-308357

(22)出願日

平成7年(1995)10月31日

(71)出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72)発明者 古嶋 裕司

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

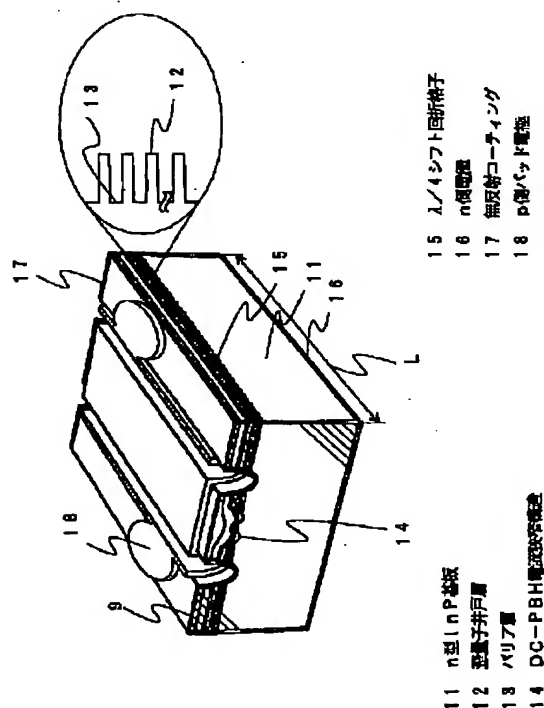
(74)代理人 弁理士 鈴木 章夫

(54)【発明の名称】 レーザダイオード素子

(57)【要約】

【課題】 伝送速度数百Mb/s以上、伝送距離数十Km以上の長距離高速光通信システム用の光源としてレーザダイオード素子を構成する場合、広い温度範囲(−40〜+85℃)で良好な光出力特性ならびに変調特性を得ることが困難になる。

【解決手段】 1. 3μm帯入/4シフト分布帰還型のレーザダイオードにおいて、InGaAsP歪多重量子井戸からなる活性層を有し、共振器長300〜600μm、かつ、室温での離調量−15〜+15nmで、量子井戸数8〜15層もしくは量子井戸層への光閉じ込め係数が3〜10%となるように素子を構成する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 InGaAsP 歪多重量子井戸からなる活性層を有し、共振器長 $300 \sim 600 \mu\text{m}$ 、かつ、室温での離調量 $-15 \sim +15 \text{ nm}$ で、量子井戸数 $8 \sim 15$ 層もしくは量子井戸層への光閉じ込め係数が $3 \sim 10\%$ であることを特徴とする $1.3 \mu\text{m}$ 帯入／4シフト分布帰還型のレーザダイオード素子。

【請求項2】 InGaAsP 歪多重量子井戸からなる活性層を有し、共振器長 $400 \sim 500 \mu\text{m}$ 、かつ、室温での離調量 $-10 \sim +10 \text{ nm}$ で、量子井戸数 $10 \sim 12$ 層もしくは量子井戸層への光閉じ込め係数が $5 \sim 8\%$ であることを特徴とする $1.3 \mu\text{m}$ 帯入／4シフト分布帰還型のレーザダイオード素子。

【請求項3】 AlGaInAs 歪多重量子井戸からなる活性層を有し、共振器長 $250 \sim 600 \mu\text{m}$ 、かつ、室温での離調量 $-20 \sim +15 \text{ nm}$ で、量子井戸数 $5 \sim 15$ 層もしくは量子井戸層への光閉じ込め係数が $2 \sim 10\%$ であることを特徴とする $1.3 \mu\text{m}$ 帯入／4シフト分布帰還型のレーザダイオード素子。

【請求項4】 AlGaInAs 歪多重量子井戸からなる活性層を有し、共振器長 $300 \sim 500 \mu\text{m}$ 、且つ、室温での離調量 $-15 \sim +10 \text{ nm}$ で、量子井戸数 $6 \sim 12$ 層もしくは量子井戸層への光閉じ込め係数が $2.5 \sim 8\%$ であることを特徴とする $1.3 \mu\text{m}$ 帯入／4シフト分布帰還型のレーザダイオード素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は光通信システムの光源として用いられる半導体素子に関し、特に広い温度範囲で良好な光出力特性ならびに変調特性を有するレーザダイオード素子に関する。

【0002】

【従来の技術】光通信システムの発展に伴い、より広い温度で安定した出力特性を有する半導体光装置が求められている。光通信用の光源としては、比較的短距離の通信には発光ダイオード (LED) が用いられるが、通常はレーザダイオード (LD) が用いられている。しかしながら、LD素子そのものの出力特性は周囲の温度による変化が大きく、図12に示すように高温ほど閾値電流 I_{th} が増加し、微分効率 η が低下する。LDを光通信用の発光源として使用する場合には、通常閾値電流に近いバイアス電流を印加し、さらにパルス電流を重畳することにより信号となる光パルスを発生させているが、受信素子のダイナミックレンジ等の問題から光パルスの波高値は出来るだけ一定にする必要がある。

【0003】しかしながらLDにおいては上述のごとく、その出力特性に温度依存性があるため、一般にはLDを一定の温度に保つための温度制御装置が利用されるが、この温度制御装置は高価だけでなく、半導体光装置の大きさ及び消費電力を大きくしてしまう。また、こ

のような温度制御装置を用いない場合は、温度上昇に伴い微分効率 η が大きく低下するため、直流バイアス電流を制御すると共に、これに重畳するパルス電流の大きさにも補正を加えることにより光パルス出力の波高値を一定にしなければならないが、LDの光出力特性の温度依存性が大きいほど、変調回路の構成と制御が複雑となる。

【0004】このように半導体光装置はLDの温度を一定に保つ装置や、光出力を一定に保つための複雑な入力信号制御回路を必要とし、小型化及び低価格化の点から半導体光装置そのものの温度特性の改善が求められている。光通信システム用のLDに対しては、例えば「Reliability assurance practices for optoelectronic devices in loop applications: Bellcore, TA-TSY-00983, Issue 1, January 1990」等にも記述されているように、一般に $-40 \sim +85^\circ\text{C}$ の温度で動作することが求められており、高温光出力特性の具体値としては 85°C での閾電流値 50 mA 以下、 5 mW 出力時の駆動電流 80 mA 以下、 25°C から 85°C の温度上昇に対する微分効率の低下率 3 dB (50%) 以下であることが要求されている。近年、伝送速度 155 Mb/s 以下の比較的伝送速度の低い数十 km 以上の長距離伝送、あるいは、伝送速度 1 Gb/s 等の高い伝送速度ではあるが伝送距離が 1 km 未満の比較的短距離伝送等の用途に使用される Fabry-Perot 共振器型のLD (以下、FP-LD) においては、この $-40 \sim +85^\circ\text{C}$ の温度範囲で動作保証された素子が、多重量子井戸 (Multiple Quantum Well; 以下MQW) 活性層構造あるいは歪MQW活性層構造の導入や、電流狭窄構造の改善により実現されている。

【0005】しかしながら、図13(a)の如く多重縦モード発振しているFP-LDはその発振波長スペクトルの広がりから長距離伝送中に信号波形が劣化し、数百 Mb/s 以上の高速長距離伝送用途には使用することができない。このため、一般には図13(b)の如く素子中に形成された回折格子によって決定される波長において単一軸モード発振する分布帰還型LD (Distributed-FeedBack Laser Diode; 以下、DFB-LD) が用いられるが、DFB-LDにおいては以下に示す離調量の温度変化のために $-40 \sim +85^\circ\text{C}$ 広い温度範囲において安定した光出力特性ならびに単一軸モード発振特性を実現するのは困難であった。DFB-LDは素子中に形成された回折格子の周期 Λ 、及びLD素子を導波するレーザ光に対する光導波層の実効屈折率 n_{eff} によって決定されるブラッグ波長 $\lambda_{\text{Bragg}} = 2 n_{\text{eff}} \Lambda$ において単一軸モード発振が行われるが、この発振波長 λ_{Bragg} は活性層温度の上昇に対して約 $0.09 \text{ nm}/^\circ\text{C}$ の割合で長波長化する。

【0006】一方、LD活性層のバンド構造の温度変化のために、光学利得が最大となる波長、即ち最大利得

(Gain Peak) 波長 λ_{GP} にも温度依存性が存在し、活性層温度の上昇に対して $3 \sim 6 \text{ nm}/^\circ\text{C}$ の割合で長波長化する。なお、最大利得波長 λ_{GP} は素子に注入される電流の大きさによっても変化するため、本件における最大利得波長 λ_{GP} は発振閾値電流 I_{th} の0.9倍の電流注入時の最大利得波長を以て定義する。

【0007】ブラッグ波長 λ_{Bragg} と最大利得波長 λ_{GP} の差、即ち離調量 $\Delta\lambda = \lambda_{Bragg} - \lambda_{GP}$ はDFB-LDの光出力特性ならびに高速変調特性を大きく左右し、ある一定の温度で動作させるDFB-LDを設計する際においても、極めて重要なパラメータの一つであるが、上述の如き温度変化に対する λ_{Bragg} と λ_{GP} のシフト量の違いから、離調量 $\Delta\lambda$ に温度依存性が生じ、DFB-LDの広温度範囲動作を極めて困難なものとしている。

【0008】図14は 25°C （以下、単に室温とも言う）における離調量が $+10 \text{ nm}$ のDFB-LDに発振閾値電流 I_{th} の0.9倍の電流を印加した際の発振閾値前スペクトルの温度変化を示した図であるが、 85°C では離調量 $\Delta\lambda$ が -8 nm と 20 nm 近く負にシフトしている。また低温での離調量 $\Delta\lambda$ は -20°C では $+18 \text{ nm}$ 、 -40°C では $+30 \text{ nm}$ にも達しており、このような離調量の絶対値 $|\Delta\lambda|$ の増大は後述のようにDFB-LDがブラッグ波長において単一軸モード発振するためには大きな障害となる。

【0009】現在実用に供されているDFB-LDは、回折格子に位相シフトを設けていない素子と位相シフトを設けた素子に大別することができるが、前者（以下、均一回折格子DFB-LDと言う）では通常、素子の前方端面反射率を1%以下に、後方端面反射率を70~90%以上にするにより前方から射出される光量すなわち前方の微分効率を大きくしている。しかしながら、後方端面の比較的高い端面反射率のために離調量が大きくなるとFabry-Perotモード（以下、FPモード）発振を十分に抑圧することができないという問題が生じる。比較的狭い温度範囲においてのみ動作させる場合には、このFPモード抑圧特性はほとんど問題にならないが、前述のように離調量 $\Delta\lambda$ には強い温度依存性が存在するため、広い温度範囲で十分なFPモード抑圧比 (Fabry-Perot Mode Suppression Ratio; FMSR) を確保することは極めて困難なものとなる。

【0010】例えば、前方反射率1%以下、後方反射率75%の均一回折格子DFB-LDの場合、図15に示すように低温での離調量の増大により、 -20°C ($\Delta\lambda = +18 \text{ nm}$) におけるFMSRは室温における35dBから20dBまで低下し、さらに -40°C ($\Delta\lambda = +30 \text{ nm}$) では図15(c)のようにFPモード発振がDFBモードよりも支配的になってしまう。このようなFMSRの低下は伝送特性の劣化、すなわち受信感度の劣化や、符号誤り率の増大を引き起こし、更に、FPモード発振がDFBモードよりも支配的な状況において

は、もはやDFB-LDとしての動作はなされておらず、伝送速度数百Mb/s以上、伝送距離数十km以上という長距離高速光通信システムの光源としては使用することができない。

【0011】一方、後者、即ち回折格子に位相シフト部を有するタイプの素子では、図16(a)に示した概念図の如く回折格子軸方向中央部付近に位相シフト量 $\lambda/4$ の位相シフト部を設けた素子（以下 $\lambda/4$ シフトDFB-LDと言う）が実用化されている。 $\lambda/4$ シフトDFB-LDにおいては素子の両端面は反射率1%以下の無反射コーティングを施すことによって図16(b)に示すような回折格子によるストップバンド中央付近のブラッグ波長で安定した単一軸モード発振を得ることができる。また、両端面が無反射コーティングされていることからFPモードが発振しにくく、室温離調量が前述の均一回折格子DFB-LDと同じ素子においても、 -20°C ($\Delta\lambda = +18 \text{ nm}$) におけるFMSRは50dB以上と室温と比べてもほとんど劣化せず、さらに -40°C ($\Delta\lambda = +30 \text{ nm}$) においても30dB以上のFMSRを維持することができる。

【0012】しかしながら、前後方端面の反射率を変えることによって前後方出力比を大きくすることができないため、高出力動作は特に高温において困難であり、これまでに例えば 85°C 等の高温で $\lambda/4$ シフトDFB-LDの安定動作を実現したという報告はなされていない。例えば活性層にInGaAsP歪多重量子井戸を導入することにより高温特性を改善した共振器長 $300 \mu\text{m}$ 、室温での離調量 -10 nm 、量子井戸数7（量子井戸層への光閉じ込め係数2.5%）の素子においても、電流-光出力特性の温度依存性は図16(c)に示すようなものであり、室温から 85°C の温度上昇による微分効率の低下率が3.5dBと大きい等、LDの無温度調動作ならびに駆動回路の簡略化により半導体光装置の低価格化、小型化、低消費電力化を実現するには不十分であった。

【0013】上述のように、DFB-LDにおいてはFP-LD同様の現象である高温での利得の低下のみならず、離調量 $\Delta\lambda$ の変化による発振波長利得の増減やFPモード抑圧比の変化が顕著となるため、広い温度範囲で安定した光出力特性ならびに高速変調特性を確保するのは極めて困難であり、これまでは山本らの「高温動作型全MOCVD成長 $1.3 \mu\text{m}$ 帯歪MQW-CBFBH-DFB-LD（1994年電子情報通信学会秋季大会予稿集、C-302）」にあるように均一回折格子DFB-LDを用いた $-20 \sim 85^\circ\text{C}$ における 622.08 Mb/s 動作の報告がなされているにすぎなかった。

【0014】

【発明が解決しようとする課題】以上のように、従来のLDにおいては、伝送速度数百Mb/s以上（通常 622.08 Mb/s あるいは 2.48832 Gb/s ）、

伝送距離数十km以上（通常40km以上）という長距離高速光通信システムの光源として用いるDFB-LDには温度を一定に保つための温度制御装置が必要であり、この温度制御装置のために、半導体光装置の低価格化、小型化、低消費電力化が大幅に制限されるという問題が生じている。その理由は、上述のごとき長距離高速光通信システムに用いられるDFB-LDは光出力特性、発振スペクトル特性、高速変調特性に極めて強い温度依存性が存在し、通信システムの運用上必要とされる-40～+85℃の温度範囲での安定した単一軸モード発振、ならびに、高温での良好な光出力特性、具体的には85℃での閾電流値50mA以下、5mW出力時の駆動電流80mA以下、25℃から85℃の温度上昇に対する微分効率の低下率3dB以下を実現するのが極めて困難であるからである。

【0015】本発明の目的は、広い温度範囲で良好な光出力特性ならびに変調特性を有し、伝送速度数百Mb/s以上（通常622.08Mb/sあるいは2.48832Gb/s）、伝送距離数十km以上（通常40km以上）の長距離高速光通信システムの光源として使用可能なレーザダイオード素子を提供することである。

【0016】

【課題を解決するための手段】本発明のレーザダイオード素子は、InGaAsP歪多重量子井戸からなる活性層を有し、共振器長300～600μm、かつ、室温での離調量-15～+15nmで、量子井戸数8～15層もしくは量子井戸層への光閉じ込め係数が3～10%であることを特徴とする。この場合、高い歩留りで素子を製造するためには、共振器長400～500μm、かつ、室温での離調量-10～+10nmで、量子井戸数10～12層もしくは量子井戸層への光閉じ込め係数が5～8%であることが好ましい。

【0017】また本発明のレーザダイオード素子は、AlGaInAs歪多重量子井戸からなる活性層を有し、共振器長250～600μm、かつ、室温での離調量-20～+15nmで、量子井戸数5～15層もしくは量子井戸層への光閉じ込め係数が2～10%であることを特徴とする。この場合、高い歩留りで素子を製造するためには、共振器長300～500μm、且つ、室温での離調量-15～+10nmで、量子井戸数6～12層もしくは量子井戸層への光閉じ込め係数が2.5～8%であることが好ましい。

【0018】なお、本発明においては量子井戸数 N_w に対して必要とされる条件と量子井戸層への光閉じ込め係数 Γ_w に対して必要とされる条件を併記しているが、これは両者が独立したパラメータではなくお互いに相関のある値であり、かつ素子特性に与える影響は直感的な認識が容易な N_w よりもむしろ N_w と共に変化する Γ_w の方が支配的であるという認識に基づいたものである。例えば量子井戸幅60Åで $N_w = 7$ 、 $\Gamma_w = 6\%$ の素子の

特性は量子井戸幅が40Åの素子の場合、 $N_w = 7$ 、 $\Gamma_w = 4\%$ の素子よりもむしろ $N_w = 10$ 、 $\Gamma_w = 6\%$ の素子の特性に近いものとなるが、これはLDの諸特性を大きく左右する光学利得の大きさが Γ_w に比例するためである。

【0019】また本発明にかかる素子の製造方法、 $\lambda/4$ シフト回折格子の位置、活性層の層構造、量子井戸層の歪量、電流狭窄構造はどのような方法、構造、位置あるいは値であっても構わず、DFB-LDにおいて単一モード歩留まりや電流出力特性の直線等に大きな影響を及ぼす（回折格子の結合係数） \times （共振器長）の値は、 $\lambda/4$ シフトDFB-LDの単一モード歩留まりを著しく悪化させない値、約2～3の範囲内であれば良い。

【0020】

【発明の実施の形態】次に、本発明の実施形態を図面を参照して説明する。まず、本発明の第1の実施形態として、電流狭窄構造としてDC-PBH構造、活性層にInGaAsPの歪MQW（圧縮歪量0.5%、量子井戸幅約40Å）を用いた $\lambda/4$ シフトDFB-LDにおいて、共振器長 L 、25℃での離調量 $\Delta\lambda_{25^\circ\text{C}}$ 、量子井戸数 N_w をパラメータとし、その高温光出力特性、FPモード抑圧比（FMSR）、ならびに高速変調特性との相関について述べる。図1は本実施形態の素子構造の斜視図であり、同図において、 n 型InP基板11に歪量子井戸層12、バリア層13からなる活性層が形成され、DC-PBH電流狭窄構造14と $\lambda/4$ シフト回折格子15が形成される。また、裏面には n 側電極16が、表面に無反射コーティング17と p 側パッド電極18が形成される。また、 L は共振器長を示す。

【0021】図2(a)は $L = 450\mu\text{m}$ の素子において、 $\Delta\lambda_{25^\circ\text{C}}$ と N_w をパラメータとして、25℃から85℃の温度上昇に対する微分効率の低下率 $\Delta\eta_{25^\circ\text{C}}$ を示した図である。図中のプロット点及び誤差棒はそれぞれ素子の平均値及び分散を示したものであり、以下素子特性を示す図には同様の表示を行う。 N_w が一定の場合、 $\Delta\lambda_{25^\circ\text{C}}$ が大きい程、即ち室温でのブラッグ波長が最大利得波長よりも長波長側にあるほど $\Delta\eta_{25^\circ\text{C}}$ が小さくなるが、これは温度上昇によって $\Delta\lambda$ が負にシフトした場合にも、 $\Delta\lambda_{25^\circ\text{C}}$ が大きいほど高温での $\Delta\lambda$ の絶対値が小さく、ブラッグ波長において十分な光学利得を得ることができるためである。また、 $\Delta\lambda_{25^\circ\text{C}}$ が一定の場合、 N_w が大きいほど $\Delta\eta_{25^\circ\text{C}}$ が小さくなるが、これは N_w が大きいほど量子井戸層への光閉じ込め係数 Γ_w が大きくなり、高温でも十分な光学利得が得られることと、 N_w が大きいほど同一注入電流においても量子井戸一層あたりの注入キャリア密度が小さく、高温で顕著となるキャリアオーバーフローによる光学利得の減少を小さくすることができるためである。

【0022】後述するように、-40～+85℃の温度

範囲において長距離高速伝送に十分なFMSRを確保するためには室温離調量 $\Delta\lambda 25^\circ\text{C}$ は $+15\text{ nm}$ 以下であることが必要となり、この点を考慮すると $\Delta\eta 85^\circ\text{C} \leq 3\text{ dB}$ という条件に対して十分な歩留まり、例えば50%以上の歩留まりを確保するには N_w が8以上、あるいは Γ_w が3%以上であることが必要となる。 N_w あるいは Γ_w を増加することにより、高温特性のうち $\Delta\eta 85^\circ\text{C}$ の改善は可能であるが、 N_w あるいは Γ_w がある程度よりも大きくなると素子における光導波損失が増大し、閾値電流 I_{th} の上昇、微分効率 η の低下、ならびに一定光出力時の駆動電流 I_{op} の増加が問題となる。

【0023】図2(b)は $L=450\mu\text{m}$ 、 $\Delta\lambda 25^\circ\text{C}=0\text{ nm}$ の素子の 85°C における閾値電流 $I_{th85^\circ\text{C}}$ 及び5mW出力時の駆動電流 $I_{op85^\circ\text{C}}$ N_w 依存性を示したものであるが、 $I_{th85^\circ\text{C}}$ 、 $I_{op85^\circ\text{C}}$ ともに $N_w=10$ 以上の増加が顕著となり、 $I_{th85^\circ\text{C}} \leq 50\text{ mA}$ 、 $I_{op85^\circ\text{C}} \leq 80\text{ mA}$ という条件に対して十分な歩留まり、例えば50%以上の歩留まり確保するためには N_w が15以下、あるいは Γ_w が10%以下であることが必要となる。

【0024】以上のように高温での微分効率の低下率 $\Delta\eta$ を小さく抑え、且つ、高温での閾値電流ならびに駆動電流の増加を抑え、 $\Delta\eta 85^\circ\text{C} \leq 3\text{ dB}$ 、 $I_{th85^\circ\text{C}} \leq 50\text{ mA}$ 、 $I_{op85^\circ\text{C}} \leq 80\text{ mA}$ という条件に対して十分な歩留まりとして50%以上の歩留まり確保するためには、 N_w が8以上15以下、あるいは Γ_w が3%以上10%以下であることが必要であり、好ましくは $N_w=10\sim 12$ 、 $\Gamma_w=5\sim 8\%$ の範囲内であることが望ましい。

【0025】次に $N_w=10$ 、 $\Delta\lambda 25^\circ\text{C}=0\text{ nm}$ の素子を例に、高温光出力特性の共振器長 L 依存性に関して述べる。図3(a)は $N_w=10$ 、 $\Delta\lambda 25^\circ\text{C}=0\text{ nm}$ の素子における $\Delta\eta 85^\circ\text{C}$ の L 依存性を示したものであるが、 L が大きい、即ち共振器長が長いほど $\Delta\eta 85^\circ\text{C}$ が改善される傾向にあり、 $\Delta\eta 85^\circ\text{C} \leq 3\text{ dB}$ という条件に対して50%以上の歩留まりを確保するためには $300\mu\text{m}$ 以上の共振器長が必要となる。これは共振器長が長いほど電流密度の低減により、高温での電流狭窄部分におけるリーク電流の低減や活性層におけるキャリアオーバーフローが低減され、また最大光出力も増加することを反映したものである。しかしながら、共振器長を長くすると光導波損失の増加と注入電流密度の増加により、やはり閾値電流の上昇と微分効率の低下、及び一定光出力時の駆動電流の増加が問題となる。図3(b)に示すように L の増加に伴う $I_{th85^\circ\text{C}}$ 及び $I_{op85^\circ\text{C}}$ の増加は著しく、 $I_{th85^\circ\text{C}} \leq 50\text{ mA}$ 、 $I_{op85^\circ\text{C}} \leq 80\text{ mA}$ という条件に対して十分な歩留まりを確保するためには共振器長は $600\mu\text{m}$ 以下であることが望ましく、 $500\mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。

【0026】以上のように高温での微分効率の低下率を小さく抑え、且つ、高温での閾値電流ならびに駆動電流の増加を抑えるためには、共振器長 L は $300\mu\text{m}$ 以上

$600\mu\text{m}$ 以下であることが必要であり、好ましくは $400\sim 500\mu\text{m}$ の範囲以内であることが望ましい。

【0027】以上、高温光出力特性を確保するために必要とされる素子の設計パラメータについて述べたが、次に $-40\sim +85^\circ\text{C}$ にも及ぶ広い温度範囲において安定した単一軸モード発振を可能とするために必要となる素子パラメータについて説明する。

【0028】図4(a)は $L=450\mu\text{m}$ 、 $N_w=10$ ($\Gamma_w=6\%$)の素子において $\Delta\lambda 25^\circ\text{C}$ をパラメータにFPモード抑圧比FMSRの温度依存性を示したものであるが、 $\Delta\lambda 25^\circ\text{C}=+10\text{ nm}$ の素子は低温で、 $\Delta\lambda 25^\circ\text{C}=-15\text{ nm}$ の素子は高温で、それぞれ離調量の絶対値の増加によりFMSRが劣化している。図4(b)は -40°C ならびに $+85^\circ\text{C}$ におけるFMSRの $\Delta\lambda 25^\circ\text{C}$ 依存性を示したものであるが、 $-40\sim +85^\circ\text{C}$ の温度範囲で長距離高速伝送を可能とするのに十分なFMSR、例えば $622\text{ Mb/s}-50\text{ km}$ 伝送では 30 dB 以上のFMSRを確保するには、室温での $\Delta\lambda 25^\circ\text{C}$ は $+10\sim -15\text{ nm}$ の範囲内であることが必要であることがわかる。

【0029】なお、離調量の絶対値の増大に伴うFMSRの劣化は量子井戸層数 N_w あるいは Γ_w が多いほど顕著となり、同様のFMSRを $-40\sim +85^\circ\text{C}$ の温度範囲で確保するための $\Delta\lambda 25^\circ\text{C}$ の許容範囲は $N_w=8$ の素子で $+15\sim -18\text{ nm}$ 、 $N_w=12$ の素子で $+8\sim -12\text{ nm}$ 、 $N_w=15$ の素子では $+6\sim -10\text{ nm}$ の範囲に制限される。このように、広い温度範囲及び $\Delta\lambda 25^\circ\text{C}$ に対して十分なFMSRを確保するという観点において、 N_w は15以下であることが望ましい。

【0030】以上の結果から、 $-40\sim +85^\circ\text{C}$ という広い温度範囲において伝送速度数百 Mb/s 以上(通常 622.08 Mb/s あるいは 2.48832 Gb/s)、伝送距離数十 km 以上(通常 40 km 以上)という長距離高速光通信システムの光源として用いることができる $1.3\mu\text{m}$ 帯InGaAsP系 $\lambda/4$ シフト歪MQW-LDを実現し、高い歩留まりで安価に生産供給するためには「共振器長 $300\sim 600\mu\text{m}$ 、且つ、室温での離調量 $-15\sim +15\text{ nm}$ で、量子井戸数 $8\sim 15$ 層もしくは量子井戸層への光閉じ込め係数が $3\sim 10\%$ であること」が必要となる。

【0031】図5は上述の設計パラメータ範囲内において作製した素子の一例として、「 $L=450\mu\text{m}$ 、 $\Delta\lambda 25^\circ\text{C}=0\text{ nm}$ 、 $N_w=10$ ($\Gamma_w=6\%$)」の $\lambda/4$ シフト歪MQW-LDの電流-高出力特性の温度特性、ならびに -40°C 、 $+25^\circ\text{C}$ 、 $+85^\circ\text{C}$ における $622\text{ Mb/s}-50\text{ km}$ 伝送特性の典型例を示したものであるが、 85°C においても「閾値電流 37 mA 、 5 mW 出力時の駆動電流 67 mA 、 25°C からの微分効率低下率 2.3 dB 」という優れた高温光出力特性と、 $-40\sim +85^\circ\text{C}$ という広い温度範囲において符号誤り率10

⁻¹¹ 以下までエラーフロアの無い良好な伝送特性を実現している。

【0032】 $\lambda/4$ シフトDFB-LDは数Gb/s以上の伝送速度、例えば2.48832Gb/sという高速伝送においても、ストップバンド幅中央付近のブラッグ波長で安定した単一軸モード発振が得られるという点において有利である。しかしながら、このような高速伝送に適用する素子には十分な高速応答特性が必要であり、ここでも共振器長L、量子井戸数Nwもしくは量子井戸層への光閉じ込め係数 Γ_w 、ならびに離調量 $\Delta\lambda$ が各々素子の高速応答特性に大きな影響を及ぼし、-40~85℃の温度範囲で実用的に十分な光出力特性と伝送速度数Gb/s以上の長距離伝送を実現するための値は更に限定されたものとなる。

【0033】図6は素子の高速応答特性の目安として25℃において光出力5mW時の緩和振動周波数frの共振器長L、量子井戸数Nw、ならびに25℃における離調量 $\Delta\lambda$ 25℃依存性を示したものであるが、Lが小さく、Nwあるいは Γ_w が大きく、 $\Delta\lambda$ 25℃が小さいほど高速応答特性が向上する。また、図7は光出力5mW時の緩和振動周波数frの温度依存性を示したものであるが、低温領域では離調量 $\Delta\lambda$ が正にシフトするために高速応答特性が低下する。この点を考慮すると、素子の高速応答特性に与える影響が極めて大きい $\Delta\lambda$ 25℃は0以下であることが望ましい。以上の結果から、-40~+85℃という広い温度範囲で伝送速度数Gb/s以上(通常2.48832Gb/s)、伝送距離数十km以上(通常40km)の長距離高速伝送の光源として適用することができる1.3 μ m帯InGaAsP系 $\lambda/4$ シフト歪MQW-LDを実現し、高い歩留まりで安価に生産供給するためには「共振器長300~500 μ m、且つ、室温での離調量-15~0nmで、量子井戸数10~15あるいは量子井戸層への光閉じ込め係数 Γ_w が5~10%」であることが必要となる。

【0034】図8は上述の設計パラメータ範囲内において作製した素子の一例として、「L=450 μ m、 $\Delta\lambda$ 25℃=-8nm、Nw=12(Γ_w =6.6%)」の $\lambda/4$ シフト歪MQW-LDの電流-光出力特性の温度特性、ならびに-40℃、+85℃における2.48832Gb/s-40km伝送特性の典型例を示したものであるが、85℃においても「閾値電流42mA、5mW出力時の駆動電流72mA、25℃からの微分効率の低下率2.5dB」という優れた高温光出力特性と、-40~+85℃における符号誤り率 10^{-11} 以下までエラーフロアの無い良好な伝送特性を実現している。

【0035】次に、本発明の第2の実施形態として、p-InP基板上の活性層に第1の実施形態と同じくInGaAsPの歪MQW構造を用い、電流狭窄構造として有機金属化合物気相成長法(以下MOVPE法)により埋め込み成長したPBH構造を用いた場合について述べ

る。図9は本実施例にかかる「L=450 μ m、 $\Delta\lambda$ 25℃=0nm、Nw=10(Γ_w =6%)」の $\lambda/4$ シフト歪MQW-LDの電流-光出力特性の温度特性を示したものである。MOVPE法を用いる事により、第一の実施例の如く液相成長法(以下、LPE法)でDC-PBH構造を形成した場合よりも、電流狭窄構造作製上の制御性ならびに再現性を向上することが可能であり、また同図において確認できるように、室温付近あるいはそれ以下の温度における閾電流値の低減効果が顕著である。しかしながら85℃における閾電流値、あるいはスロープ効率の低下率、5mW光出力時の駆動電流値は第1の実施形態において示したDC-PBH構造の素子と同程度である。また、電流狭窄構造あるいはその成長方法の違いによってFMSRならびに高速変調特性が大きく変化することはなく、共振器長、室温離調量、ならびに量子井戸数(あるいは光閉じ込め係数)が素子特性に与える影響が最も支配的である。

【0036】以上の理由から電流狭窄構造としてMOVPE法により埋め込み成長したPBH構造、あるいは他の電流狭窄構造やリッジ導波路型のLDにおいても、活性層にInGaAsPからなる歪MQWを用いた場合には、-40~+85℃という広い温度範囲において伝送速度数百Mb/s以上(通常622.08Mb/sあるいは2.48832Gb/s)、伝送距離数十km以上(通常40km以上)という長距離高速光通信システムの光源として用いることができる1.3 μ m帯InGaAsP系 $\lambda/4$ シフト歪MQW-LDを実現し、高い歩留まりで安価に生産供給するためには「共振器長300~600 μ m、且つ、室温での離調量-15~+15nmで、量子井戸数8~15層もしくは量子井戸層への光閉じ込め係数が3~10%であること」が必要となる。

【0037】次に本発明の第3の実施形態として、活性層にAlGaInAsの歪MQWを用いたリッジ導波路型 $\lambda/4$ シフトDFB-LDの場合について述べる。本実施例において採用したAlGaInAs活性層は、図10に歪み量子井戸層12、バリア層14における量子井戸層の伝導帯ポテンシャルP1、P2、バリア層の伝導帯ポテンシャルP3、P4、伝導帯のバンド不連続量 ΔE_c 、価電子帯のバンド不連続量 ΔE_v を示すように、ヘテロ接合界面における伝導帯のバンド不連続量 ΔE_c が同じバンドギャップ差のInGaAsPのヘテロ界面よりも大きくなるため、正孔に比べて有効質量の小さな電子の量子井戸層への閉じ込めが強く、高温でのキャリアオーバーフローが小さい。この結果、InGaAsP系のLDよりも高温での光出力特性の劣化が少ないLDを得ることができる。

【0038】したがって、本発明の第1の実施形態及び第2の実施形態で述べた、活性層にInGaAsPの歪MQWを用いた $\lambda/4$ シフトDFB-LDよりも所要の高温光出力特性を実現するための共振器長L、離調量 Δ

入、量子井戸層数 N_w あるいは光閉じ込め係数 Γ_w に必要とされる制限は緩和され、 $-40\sim+85^\circ\text{C}$ において伝送速度数百Mb/s以上（通常622.08Mb/sあるいは2.48832Gb/s）、伝送距離数十km以上（通常40km以上）という長距離高速光通信システムの光源として用いることが可能な半導体レーザ装置を得るための値は「共振器長 $250\sim600\mu\text{m}$ 、且つ、室温での離調量 $-20\sim+15\text{nm}$ で、量子井戸数 $4\sim15$ 層もしくは量子井戸層への光閉じ込め係数が $2\sim10\%$ 」となり、伝送速度Gb/s以上の（通常2.48832Gb/s）、伝送距離数十km以上（通常40km以上）という長距離高速光通信システムの光源として用いることができる半導体レーザ装置を高い歩留まりで安価に生産供給するための値は「共振器長 $250\sim500\mu\text{m}$ 、且つ、室温での離調量 $-20\sim+0\text{nm}$ で、量子井戸数 $5\sim15$ 層もしくは量子井戸層への光閉じ込め係数が $3\sim10\%$ 」となる。

【0039】図11は活性層にAlGaInAs歪MQWを用いた「 $L=300\mu\text{m}$ 、 $\Delta\lambda_{25^\circ\text{C}}=-6\text{nm}$ 、 $N_w=10$ （ $\Gamma_w=5\%$ ）」の $\lambda/4$ シフトDFB-LDの電流-光出力特性の温度特性の典型例を示したものであるが、 85°C においても「閾値電流35mA、5mW出力時の駆動電流60mA、 25°C からの微分率低下率1.2dB」という優れた高温光出力特性が得られており、 $-40\sim+85^\circ\text{C}$ という広い温度範囲において符号誤り率 10^{-11} 以下までエラーフロアの無い良好な2.48832Gb/s-40km伝送を実現している。

【0040】

【発明の効果】以上説明したように本発明は、優れた高温動作特性と広温度範囲での優れたスペクトル特性、具体的には 85°C での閾値電流50mA以下、 25°C から 85°C の温度上昇に帯する微分効率の低下率3dB以下、 85°C における5mW出力時の駆動電流80mA以下、 $-40\sim+85^\circ\text{C}$ の温度範囲における30dB以上のFPモード抑圧比を有する $\lambda/4$ シフトDFB-LDを高い歩留まりで作製することができるということである。これにより、 $-40\sim+85^\circ\text{C}$ という広い温度範囲において、伝送速度数百Mb/s以上（通常622.08Mb/sあるいは2.48832Gb/s）、伝送距離数十km以上（通常40km以上）という長距離高速光通信システムの光源として使用することができる光半導体装置を安価に大量に供給することができる。その理由は、素子パラメータが本発明において見出した範囲内にあるときにのみ、上述の如く広い温度範囲で良好な特性を有するLDを高い歩留まりで作製する事が可能であり、これにより、光半導体装置においてLDを一定の温度に保つための温度制御装置を不要とし、半導体光装置の大きさ、消費電力、ならびに製造コストを低減することができるからである。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施形態のレーザダイオード素子の斜視図である。

【図2】第1の実施形態におけるスロープ効率の低下率及び室温離調量と、閾電流値及び光出力時駆動電流のそれぞれ量子井戸数依存性を示す図である。

【図3】第1の実施形態におけるスロープ効率の低下率と、閾電流値及び光出力時駆動電流のそれぞれ共振器長依存性を示す図である。

10 【図4】第1の実施形態におけるFPモード抑圧比の温度特性と、FMSRの室温離調量依存性を示す図である。

【図5】第1の実施形態における電流-光出力特性の温度特性及び伝送特性の典型例を示す図である。

【図6】第1の実施形態における緩和振動周波数の共振器長、量子井戸数、室温離調量依存性を示す図である。

【図7】第1の実施形態における緩和振動周波数の温度依存性を示す図である。

20 【図8】第1の実施形態における電流-光出力特性の温度特性、伝送特性の典型例を示す図である。

【図9】第2の実施形態における電流-光出力特性の温度特性の典型例を示す図である。

【図10】InGaAsP系量子井戸とAlGaInAs系量子井戸におけるバンド端不連続量の違いを示す図である。

【図11】第3の実施形態における電流-光出力特性の温度特性の典型例を示す図である。

【図12】レーザダイオードの電流-光出力特性の温度依存性を示す図である。

30 【図13】FP-LDの縦多モード発振と、DFB-LDの単一縦モード発振を示す図である。

【図14】DFB-LDの発振閾値前スペクトルの温度変化を示す図である。

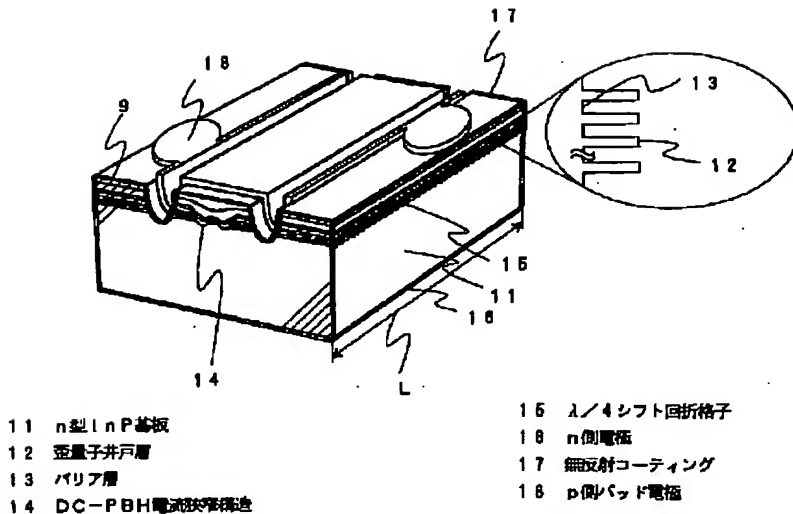
【図15】均一回折格子DFB-LDにおける低温でのFPモード抑圧特性の劣化を示す図である。

40 【図16】 $\lambda/4$ シフト回折格子と、 $\lambda/4$ シフトDFB-LDにおけるストップバンド中央付近での安定した単一軸モード発振の例と、典型的な $\lambda/4$ シフトDFB-LDの電流-光出力特性の温度依存性を示す図である。

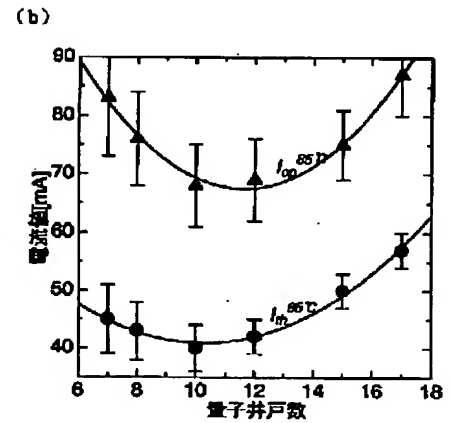
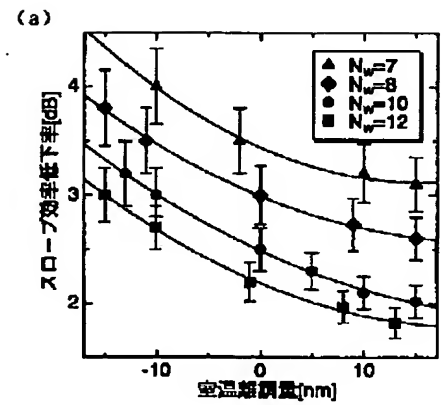
【符号の説明】

- 11 n型InP基板
- 12 歪み量子井戸層
- 13 バリア層
- 14 DC-PBH電流狭窄構造
- 15 $\lambda/4$ シフト回折格子
- 16 n側電極
- 17 無反射コーティング膜
- 18 p側パッド電極

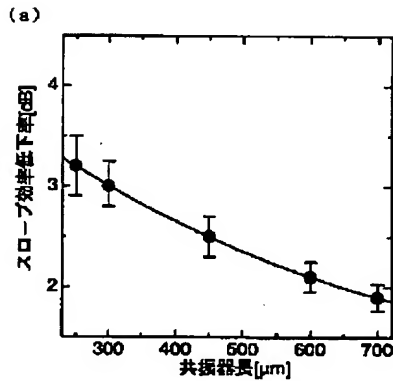
【図1】



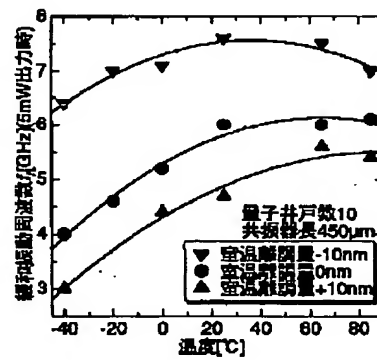
【図2】



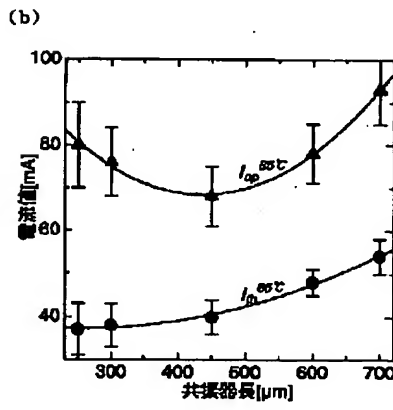
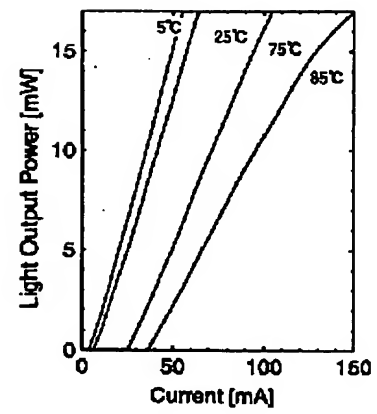
【図3】



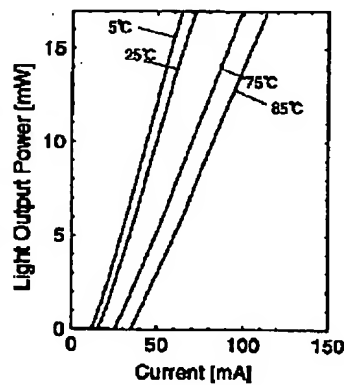
【図7】



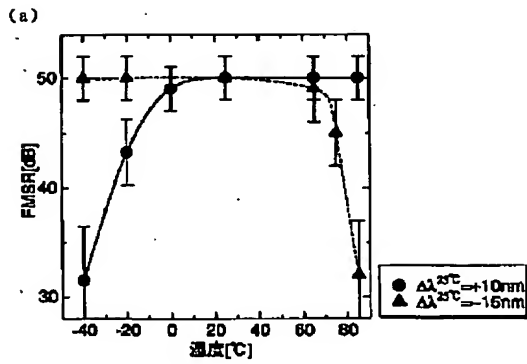
【図9】



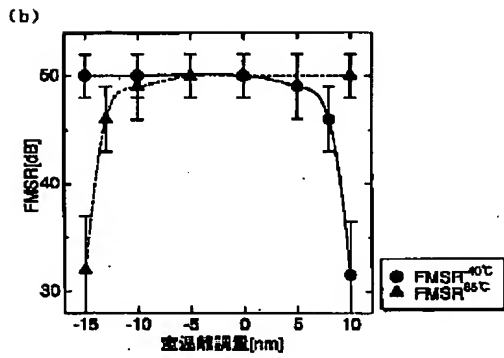
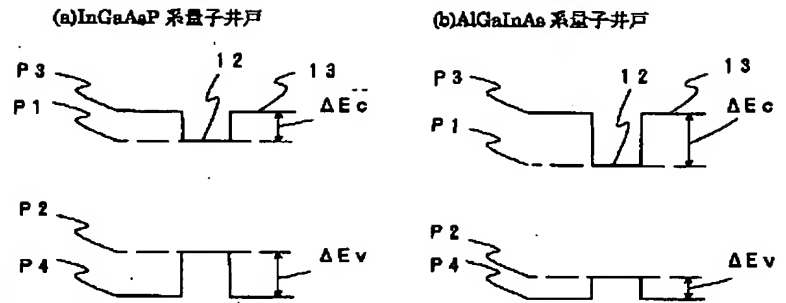
【図11】



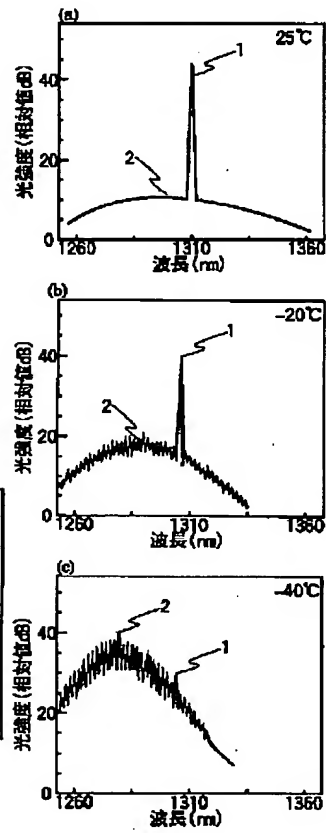
【図 4】



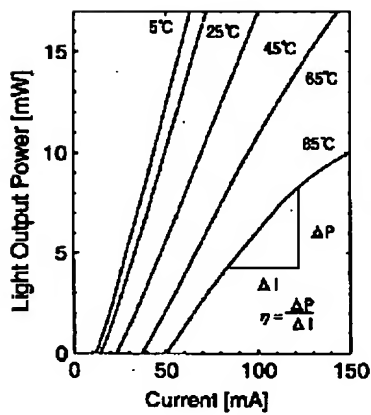
【図 10】



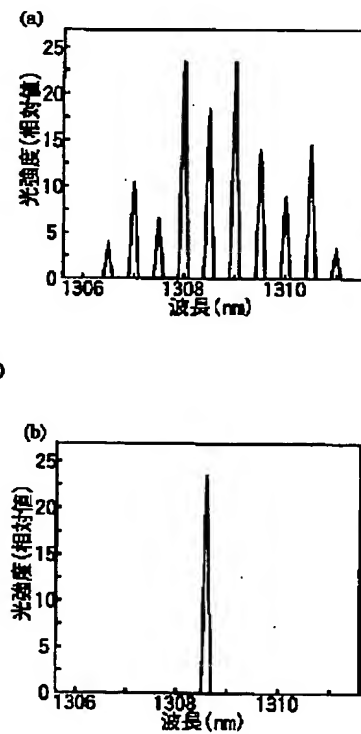
【図 15】



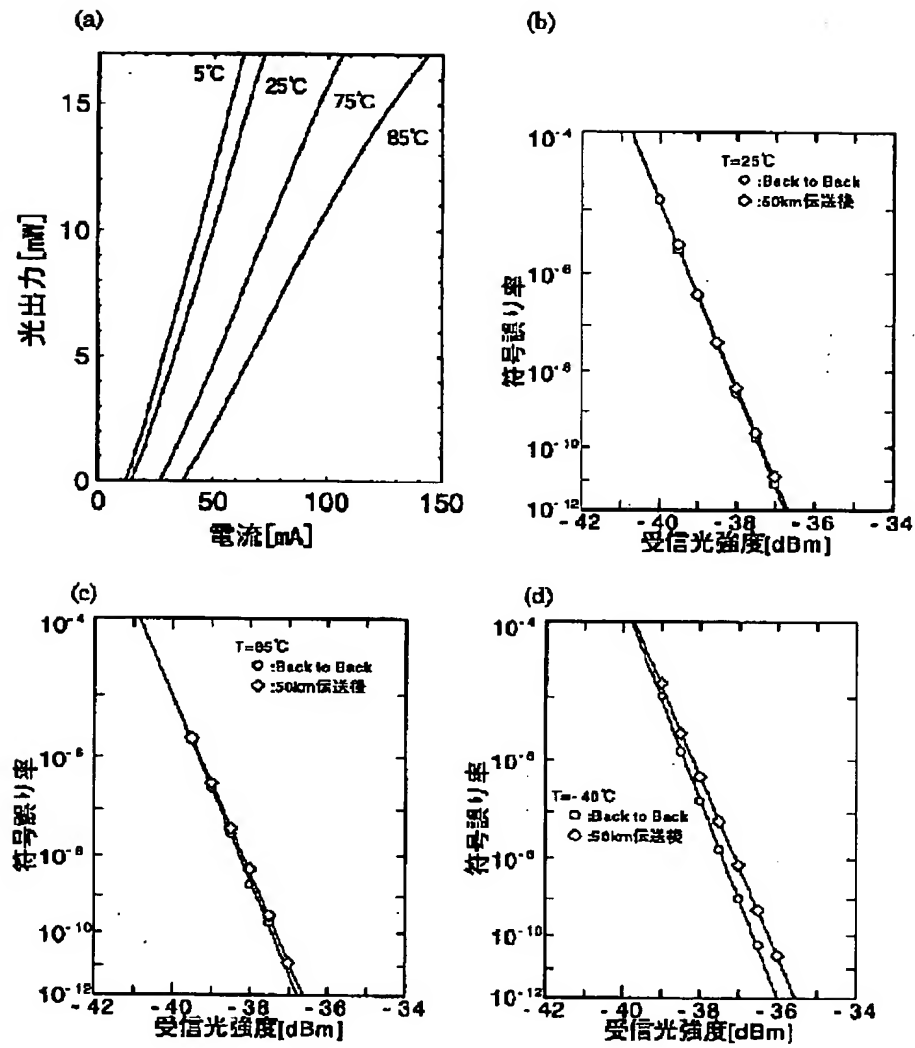
【図 12】



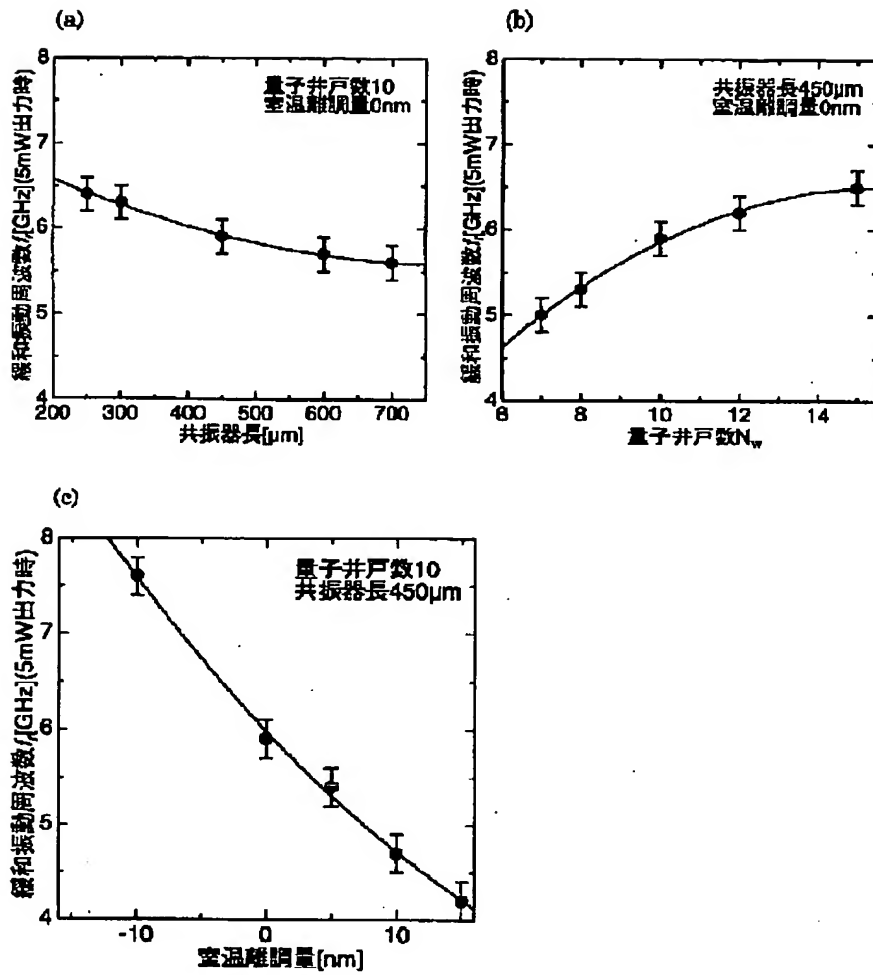
【図 13】



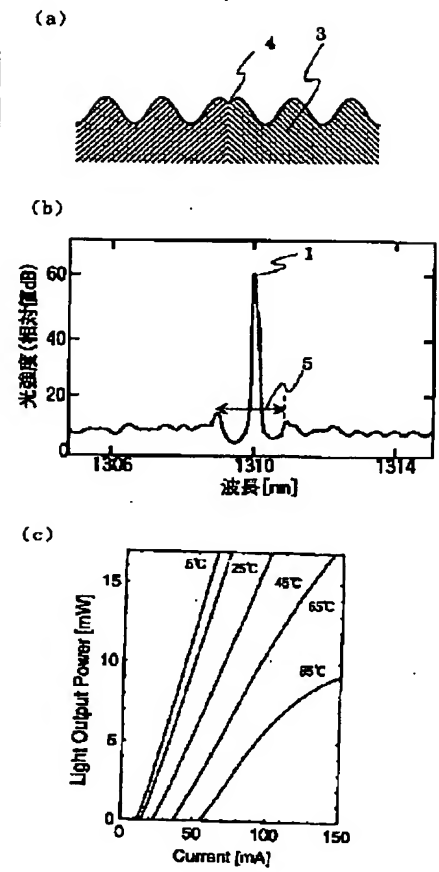
【図 5】



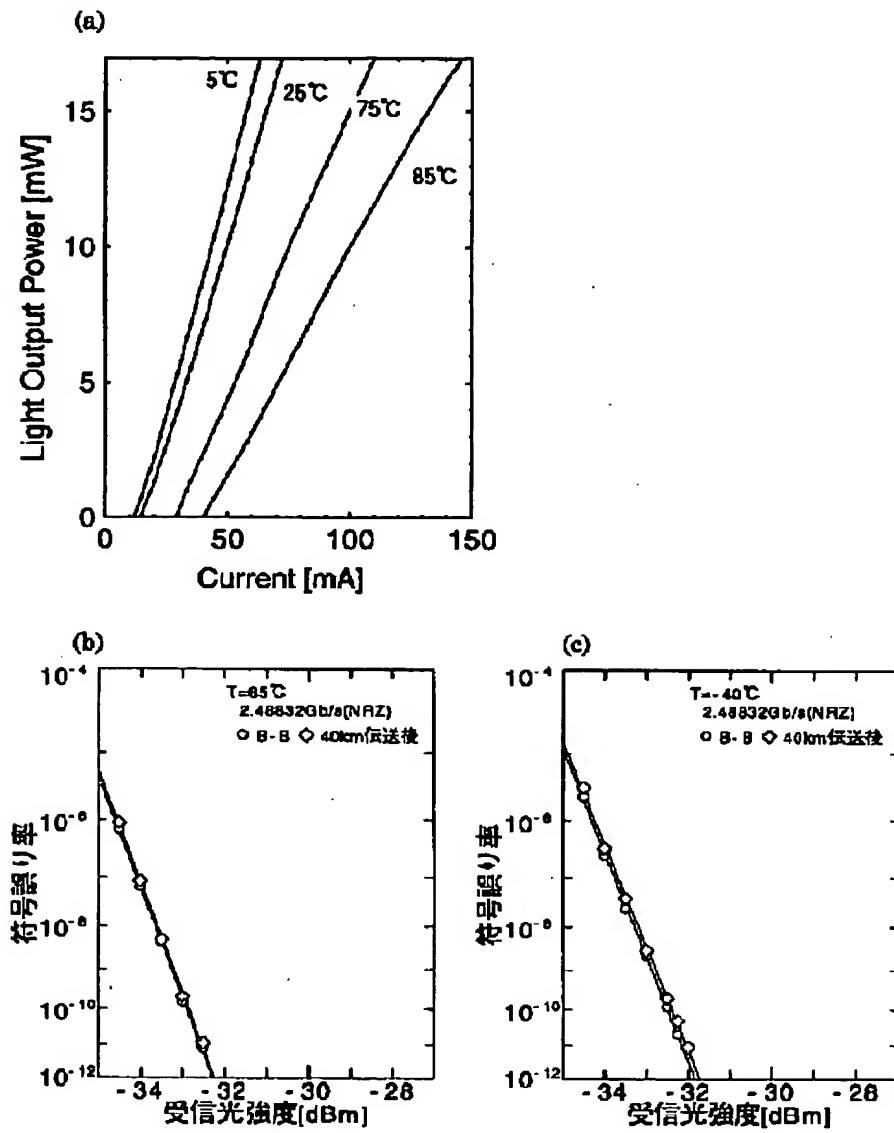
【図 6】



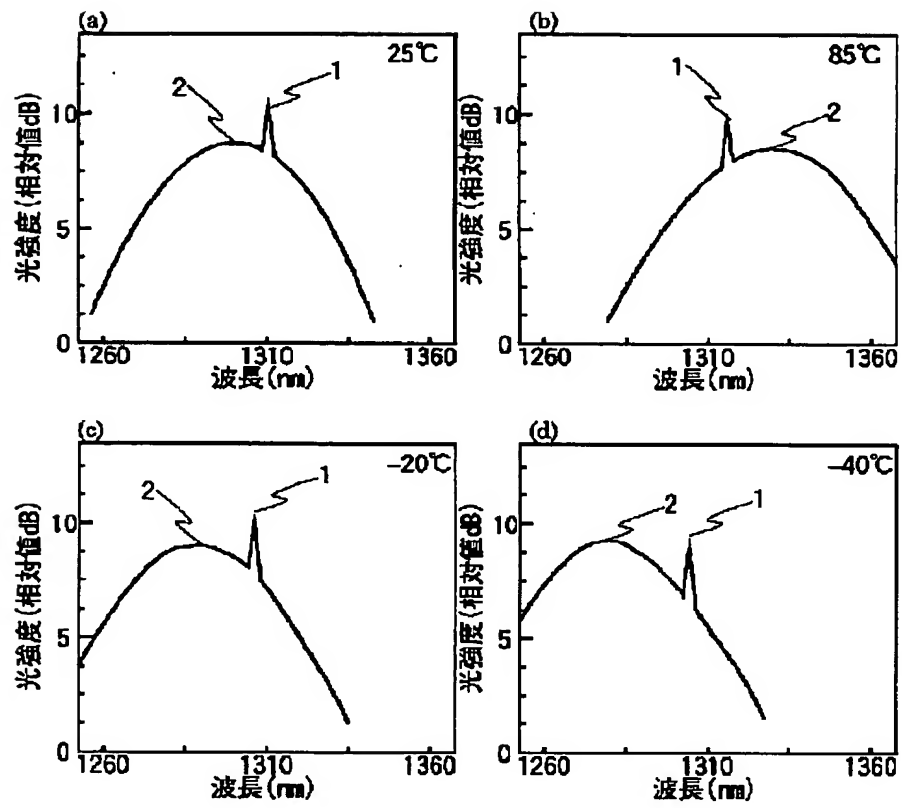
【図 16】



【図 8】



【図 1 4】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.